

DISTRIBUTED FEEDBACK SEMICONDUCTOR LASER AND ITS MANUFACTURE

Patent Number: JP10223967

Publication date: 1998-08-21

Inventor(s): SHIBATA KIMITAKA;; NISHIMURA TAKASHI;;
SHIGIHARA KIMIO;; WATANABE HITOSHI

Applicant(s): MITSUBISHI ELECTRIC CORP

Requested

Patent:  JP10223967

Application

Number: JP19970019553 19970203

Priority Number
(s):

IPC

Classification: H01S3/18

EC

Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the deterioration of the linearity of the light outputting current characteristic of a distributed feedback semiconductor laser by providing a resonator structure which generates the distributed feedback of laser light in a light guide area and changing at least the width of an active layer, the material composition of a guide layer, or the distance between the guide layer and active layer in the longitudinal direction of a resonator.

SOLUTION: The n-type $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ composition of the constituting material of a guide layer 51 constituted in a buried grating structure having a cyclic structure for generating the distributed feedback of laser light is changed in a resonator in the longitudinal direction of the resonator. Consequently, a refractive index difference occurs between the layer 51 and an upper clad layer 4 in the longitudinal direction of the resonator and, accordingly, the distribution of coupling constants also changes in the same direction. Therefore, the deterioration of the linearity of the light output current characteristic of a distributed feedback semiconductor laser caused by an SHB (spatial hole burning in the abscissa direction) can be suppressed by changing the coupling constants in the longitudinal direction of the resonator so that the electric field distribution in the resonator may become uniform in a light guide area.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-223967

(43)公開日 平成10年(1998)8月21日

(51)Int.Cl.
H01S 3/18

識別記号

FI
H01S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全22頁)

(21)出願番号 特願平9-19553

(22)出願日 平成9年(1997)2月3日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 柴田 公隆

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 西村 隆司

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 嶋原 君男

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 早瀬 憲一

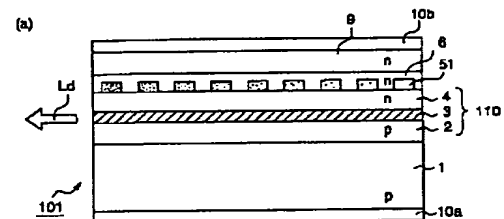
最終頁に続く

(54)【発明の名称】分布帰還型半導体レーザ及びその製造方法

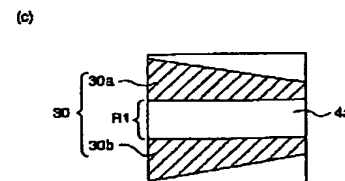
(57)【要約】

【課題】 DFBレーザ101において、光導波領域での実効屈折率の変化により共振器の持つ結合定数 κ を変化させて、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を制御性よく抑制する。

【解決手段】 ガイド層51を構成する半導体結晶の組成を、共振器長方向における結合係数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向にて変化した。



1: p-InP基板
2: p-InP下クラッド層
3: InGaAsP基MOV活性層
4: n-InP上クラッド層
51: n-InGaAsPガイド層
6: n-InPコンタクト層
101: DFB半導体レーザ
110: 半導体積層構造
10a: p電極
10b: n電極
Ld: 光出力方向



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層を上下のクラッド層により挟み込んでなり、該活性層にてレーザ光を発生させるための半導体積層構造と、

該半導体積層構造の近傍に配置され、上記活性層を中心とする光導波領域にレーザ光が集中するよう、該レーザ光の横方向閉込めを行う光閉じ込め構造と、

上記半導体積層構造の近傍に該活性層からのレーザ光を吸収するよう配置され、該活性層との間で光結合するガイド層と、

該活性層とガイド層との光結合強度の、上記光導波領域での光導波方向における周期的な変化により、該光導波領域にてレーザ光の分布帰還を発生させる共振器構造とを備え、

上記光結合強度に対応する結合定数を変化させる要素である該活性層の幅、該ガイド層の材料組成、及びガイド層と活性層との距離のうちの少なくとも 1 つの要素は、共振器長方向における変化を有することを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 2】 上記請求項 1 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

上記ガイド層は、これを構成する半導体結晶の組成を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向における位置に応じて変化させたものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 3】 上記請求項 1 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

上記ガイド層は、該ガイド層と上記活性層との間の距離を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向における位置に応じて変化させたものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 4】 上記請求項 1 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

上記活性層は、その共振器長方向と垂直な方向の幅を、上記結合定数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 5】 上記請求項 1 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

上記光導波領域は、上記活性層、上下のクラッド層、及びガイド層からなる光導波路であり、

該光導波路は、その共振器長方向と垂直な方向の幅を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 6】 上記請求項 1 記載の分布帰還型半導体

レーザにおいて、

上記ガイド層の少なくとも一部を多層構造とするとともに、

該ガイド層における積層数を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向における位置に応じて変化させたことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 7】 上記請求項 6 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

10 上記ガイド層の多層構造部分を構成する各半導体層は、その結晶組成が異なったものとなっていることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 8】 活性層を上下のクラッド層により挟み込んでなり、該活性層にてレーザ光を発生させるための半導体積層構造と、

該半導体積層構造の近傍に配置され、上記活性層を中心とする光導波領域にレーザ光が集中するよう、該レーザ光の横方向閉込めを行う光閉じ込め構造と、

20 該光導波領域での光導波方向に対する周期構造を持つよう形成され、該光導波領域にて上記レーザ光の分布帰還を発生させる共振器を構成するガイド層とを備え、

該ガイド層は、第 1 領域と第 2 領域とが共振器長方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第 1 及び第 2 領域間での層厚比が該共振器長方向における位置に応じて変化したものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 9】 請求項 8 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

30 上記隣接する第 1 及び第 2 領域間での層厚比の共振器長方向における変化は、高次関数に対応したものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 10】 請求項 8 記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、

上記ガイド層は、これを構成する半導体結晶の組成を、その層厚方向にて変化させたものであることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 11】 第 1 導電型半導体基板上に第 1 導電型下クラッド層、活性層、第 2 導電型上クラッド層、及び第 2 導電型ガイド層を順次形成する工程と、該第 2 導電型ガイド層上に第 2 導電型の第 1 の半導体層を、所定方向における厚さの変化が生ずるよう形成する工程と、

40 上記第 2 導電型の第 1 の半導体層及び上記ガイド層の選択的なエッチングにより、上記ガイド層を、第 1 領域と第 2 領域とが上記所定方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第 1 及び第 2 領域間での層厚比が上記所定方向における位置に応じて変化した構造とする工程と、

上記基板上の各層の選択的なエッチング処理により、上記所定方向にてレーザ光の分布帰還を発生させる共振器を構成する、光導波領域となるリッジ部を形成する工程

とを含むことを特徴とする分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【請求項 12】 請求項 11 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法において、
上記第 2 導電型の第 1 の半導体層及び上記ガイド層の選択的なエッチング処理を、ドライエッチング処理により行うことを特徴とする分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は分布帰還型半導体レーザ及びその製造方法に関し、特に光通信等に使用する分布帰還型半導体レーザにおける変調歪みを低減するための構造及びその形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】アナログ変調方式を用いた光通信システムでは、その光源として分布帰還型半導体レーザ（以下、DFBレーザともいう。）が用いられており、図 22 は従来の DFBレーザの構造を示す斜視図である。また、図 23(a) はその共振器長方向と平行な断面の構造を示す図、図 23(b) は該共振器長方向における結合定数の分布状態を示す図である。

【0003】図において、200 は従来の DFBレーザで、その基板 1 上には、レーザ光を発生させるための半導体積層構造 210 が形成されており、該積層構造 210 は、厚さ 1.5 μm の下クラッド層 2 と厚さ 0.15 ~ 0.2 μm 程度の上クラッド層 4 との間に、i-InGaAsP からなる厚さ 0.1 μm の歪み多重量子井戸活性層（i-InGaAsP 系 MQW 活性層）3 を挟み込んで構成されている。該活性層 3 の層厚はその構成材料等により異なり、0.05 ~ 0.2 μm の範囲の層厚に設定される。ここで、上記基板 1 には、Zn をドーブしたキャリア濃度 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の p-InP 基板が用いられており、上記下クラッド層 2 は、Zn をドーブしたキャリア濃度 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の p-InP 層から、上クラッド層 4 は、S をドーブしたキャリア濃度 $5 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ の n-InP 層から構成されている。

【0004】また、上記積層構造 210 は、上記基板 1 上の所定方向に沿った帯状リッジ部 220 を構成しており、該基板 1 上の、リッジ部 220 の両側には、下側、中間、及び上側の電流ブロック層 7a, 7b, 7c が積層されている。これらの電流ブロック層は、層厚方向の電流の流れをブロックするとともに、上記活性層 3 を中心とする光導波領域にレーザ光が集中するよう、レーザ光の横方向閉込めを行う光閉じ込め構造 210a, 210b を構成している。また、上記上クラッド層 4 上には、上記リッジ部 220 を構成する厚さ 0.04 μm の埋め込み格子構造のガイド層 5 が配置されている。このガイド層 5 は、該光導波領域での光導波方向にて周期構

造を持つよう、つまり平面形状がストライプ形状となるよう形成されており、該光導波領域にてレーザ光の分布帰還を発生させる共振器を構成するものとなっている。

【0005】ここで、上記ガイド層 5 は、Se をドーブしたキャリア濃度 $5 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ の n-InGaAsP からなり、その周期構造における InGaAsP 領域の配置間隔は 0.2 μm となっている。さらに、上記下側、上側電流ブロック層 7a, 7c は、Zn をドーブしたキャリア濃度 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の p-InP 層からなり、中央電流ブロック層 7b は、S をドーブしたキャリア濃度 $7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の n-InP 層から構成されている。

【0006】また、上記ガイド層 5 上には、S をドーブしたキャリア濃度 $5 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12}$ の低濃度の n-InP コンタクト層 6 がその InGaAsP 領域間の部分を埋め込むよう形成されており、この n-InP コンタクト層 6 は、上記リッジ部 220 を構成している。

【0007】さらに上記リッジ部 220 及び光閉じ込め構造 210a, 210b 上には、高濃度コンタクト層 9 が形成されており、このコンタクト層 9 は、Se をドーブしたキャリア濃度は $7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 程度の n-InP 層から構成されている。ここで n-InP 層の厚さ、つまり上記ガイド層 5 の表面からコンタクト層 9 の表面までの距離は、2 μm 程度となっている。

【0008】そして、上記コンタクト層 6 上には、絶縁膜 8 を介して n 電極 10b が形成され、上記 p-InP 基板 1 の裏面側には p 電極 10a が形成されている。上記 n 電極 10b は、該絶縁膜 8 の、上記リッジ部 220 に対応する部分に形成された絶縁膜開口 8a を介して上記コンタクト層 9 と電気的に接続されている。ここで、n 電極 10b は下層の Cr 層と上層の Au 層とからなる積層構造となっており、上記 p 電極 10a は、基板側の AuZn 合金層と表面側の Au 層とからなる積層構造となっている。

【0009】次に製造方法について説明する。図 24 及び図 25 は上記 DFBレーザの製造方法を主要工程順に説明するための断面図であり、図 24(a) ~ (d), 図 25(a) ~ (e) は、該 DFBレーザの低反射膜側端面の構造を、図 24(e) ~ (h), 図 25(f) ~ (j) は共振器長方向と平行な断面の構造をそれぞれ工程順に示している。

【0010】まず、p-InP 基板 1 上に、厚さ 1.5 μm の p-InP 層 2a, i-InGaAsP からなる厚さ 0.1 μm 程度の歪み多重量子井戸層 3a, 厚さ 0.15 μm の n-InP 層 4a、及び厚さ 0.04 μm の n-InGaAsP 層 5a を、MOCVD 法により連続的に成長する（図 24(a), (e)）。

【0011】続いて、干渉露光法を用いて写真製版を行い、これにより形成されたフォトマスクを用いて SiO₂ 膜のパターニングを行い、所定方向における周期構造

10

20

30

40

50

を有するSiO₂ マスク20aを形成する(図24(b), (f))。

【0012】さらに、該SiO₂ マスク20aをエッチングマスクとして、上記n-InGaAsP層5aをエッチングして、InGaAsP領域とスペース領域とが上記所定方向に交互に並ぶ周期構造を有するn-InGaAsP層5bを形成する(図24(c), (g))。

【0013】そして、SiO₂ マスク20aを除去した後、再びMOCVD法を用いてn-InP層6aを、該n-InGaAsP層5aのスペース領域が埋め込まれるよう全面に成長する(図24(d), (h))。

【0014】次に、上記所定方向に沿って所定の幅を有する帯状SiO₂ マスク20bを形成し(図25(a), (f))、これをエッチングマスクとして、基板上の各半導体層を選択的にエッチングして、断面メサ形の帯状リッジ部220を形成する(図25(b), (g))。つまり、該リッジ部220を構成する下クラッド層2、活性層3、上クラッド層4、ガイド層5、及び低濃度コンタクト層6が形成される。

【0015】その後、上記帯状マスク20bを選択成長マスクとして、MOCVD法によりp-InP下側電流ブロック層7a、n-InP中央電流ブロック層7b、及びp-InP上側電流ブロック層7cを、上記基板1上の、リッジ部220の両側に順次成長する(図25(c), (h))。このとき該リッジ部220の両側の各電流ブロック層7a~7cにより、光閉じ込め構造210a、210bが形成される。

【0016】さらに、上記帯状マスク20bを除去した後、上記リッジ部220及び電流ブロック層7c上に高濃度コンタクト層9を形成し、その後上記リッジ部220に対応する部分に絶縁膜開口8aを有するSiO₂ 膜8を形成する(図25(d), (i))。そして最後に、上記SiO₂ 膜8上にオーミック性のn電極10bを形成し、基板1の裏面側にオーミック性のp電極10aを形成して、DFBレーザ200を完成する(図25(e), (j))。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】ところで、アナログ変調方式を用いた光通信システムでは、光源となるDFBレーザには、光出力-電流特性(L-I特性)の線形性が良く、変調歪が小さいことが求められるが、DFBレーザでは、そのL-I特性の線形性を悪化させる要因として、横軸方向空間的ホールバーニング(Spatial Hole Burning)と呼ばれる現象(以下、SHB現象という。)がある。このSHB現象は、共振器内で電界が不均一に分布する現象であり、この電界の不均一な分布によって共振器内での光利得が不均一なものとなり、注入電流の増減に対する光出力の変化に非線形性が生じ、変調歪による特性の悪化を招くこととなる。また、上記SHB現象の抑圧には、共振器内にて結合定数 κ を変化さ

せることが効果的であることが知られているが、この共振器内で結合定数を変化させるための有効な構造については、現在のところまだ実現されていない。

【0018】本発明は上記のような問題点を解決するためになされたもので、光導波領域での実効屈折率の変化により共振器内の結合定数を制御性よく変化させるための構造を実現でき、これによりSHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を効果的に抑制することができる分布帰還型半導体レーザ及びその製造方法を得ることを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】この発明(請求項1)に係る分布帰還型半導体レーザは、活性層を上下のクラッド層により挟み込んでなり、該活性層にてレーザ光を発生させるための半導体積層構造と、該半導体積層構造の近傍に配置され、上記活性層を中心とする光導波領域にレーザ光が集中するよう、該レーザ光の横方向閉込めを行う光閉じ込め構造と、上記半導体積層構造の近傍に該活性層からのレーザ光を吸収するよう配置され、該活性層との間で光結合するガイド層と、該活性層とガイド層との光結合強度の、上記光導波領域での光導波方向における周期的な変化により、該光導波領域にてレーザ光の分布帰還を発生させる共振器構造とを備え、上記光結合強度に対応する結合定数を変化させる要素である該活性層の幅、該ガイド層の材料組成、及びガイド層と活性層との距離のうちの少なくとも1つの要素が、共振器長方向における変化を有するものである。

【0020】この発明(請求項2)は、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層を構成する半導体結晶の組成を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向における位置に応じて変化させたものである。

【0021】この発明(請求項3)は、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層と上記活性層との間の距離を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向における位置に応じて変化させたものである。

【0022】この発明(請求項4)は、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記活性層の共振器長方向と垂直な方向の幅を、上記結合定数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたものである。

【0023】この発明(請求項5)は、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記光導波領域を、上記活性層、上下のクラッド層、及びガイド層からなる光導波路とし、該光導波路の共振器長方向と垂直な方向の幅を、上記結合定数の変化により上記共振器内で

の電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたものである。

【0024】この発明（請求項6）は、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層の少なくとも一部を多層構造とするとともに、該ガイド層における積層数を、上記結合定数の変化により上記共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向における位置に応じて変化させたものである。

【0025】この発明（請求項7）は、上記請求項6記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層の多層構造部分を構成する各半導体層を、その結晶組成が互いに異なるよう構成したものである。

【0026】この発明（請求項8）に係る分布帰還型半導体レーザは、活性層を上下のクラッド層により挟み込んでなり、該活性層にてレーザ光を発生させるための半導体積層構造と、該半導体積層構造の近傍に配置され、上記活性層を中心とする光導波領域にレーザ光が集中するよう、該レーザ光の横方向閉込めを行う光閉じ込め構造と、該光導波領域での光導波方向に対する周期構造を持つよう形成され、該光導波領域にて上記レーザ光の分布帰還を発生させる共振器を構成するガイド層とを備え、該ガイド層を、第1領域と第2領域とが共振器長方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第1及び第2領域間での層厚比が該共振器長方向における位置に応じて変化した構造としたものである。

【0027】この発明（請求項9）は、上記請求項8記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記隣接する第1及び第2領域間での層厚比の共振器長方向における変化を、高次関数に対応した変化としたものである。

$$\kappa = (\pi \cdot \Delta n \Gamma / \lambda_0) + (\Delta \alpha \Gamma / 2) \quad \dots (1)$$

ここで、 Δn はガイド層とクラッド層の屈折率差（実効屈折率）、 Γ はガイド層への光の浸み出し率、 $\Delta \alpha$ はガイド層とクラッド層の利得係数差、 λ_0 は周期構造を有するガイド層のストライプのピッチで決まるブラッグ波長である。

【0033】この結合定数の変化により、共振器内での電界分布を変化させることができ、従って、この結合定数の共振器長方向における分布により、SHB現象により生じた共振器内での電界の不均一な分布を相殺することができる。

【0034】つまり、上記結合定数を共振器長方向に変化させることにより、共振器内で結合定数 κ が一樣であるDFBレーザよりもSHB現象による電界の不均一な分布を抑圧でき、変調2次歪に換算して10dB以上の改善効果を期待できる。以下、本発明の各実施の形態について説明する。

【0035】実施の形態1. 図1は本発明の実施の形態1によるDFBレーザを説明するための図であり、図1(a)はその共振器長方向と平行な断面の構造を示し、図

【0028】この発明（請求項10）は、上記請求項8記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層を構成する半導体結晶の組成を、その層厚方向にて変化させたものである。

【0029】この発明（請求項11）に係る分布帰還型半導体レーザの製造方法は、第1導電型半導体基板上に第1導電型下クラッド層、活性層、第2導電型上クラッド層、及び第2導電型ガイド層を順次形成する工程と、該第2導電型ガイド層上に第2導電型の第1の半導体層を、所定方向における厚さの変化が生ずるよう形成する工程と、上記第2導電型の第1の半導体層及び上記ガイド層の選択的なエッチングにより、上記ガイド層を、第1領域と第2領域とが上記所定方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第1及び第2領域間での層厚比が上記所定方向における位置に応じて変化した構造とする工程と、上記基板上的各層の選択的なエッチング処理により、上記所定方向にてレーザ光の分布帰還を発生させる共振器を構成する、光導波領域となるリッジ部を形成する工程とを含むものである。

【0030】この発明（請求項12）は、上記請求項11記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法において、上記第2導電型の第1の半導体層及び上記ガイド層の選択的なエッチング処理を、ドライエッチング処理により行うものである。

【0031】

【発明の実施の形態】まず、本発明の基本原理解について説明する。一般にDFBレーザの結合定数 κ は次式(1)のように表される。

【0032】

1(b)はその結合定数の共振器長方向における分布を示している。図1(c)は該DFBレーザの製造プロセスにて用いる選択成長用マスクの形状を示す平面図である。

【0036】図において、図23と同一符号は従来のDFBレーザ200と同一のものを示し、101は、レーザ光を発生するための半導体積層構造110を有する本実施の形態1のDFBレーザである。この半導体積層構造110は、従来のDFBレーザ200における半導体積層構造210と同様、上下のクラッド層2, 4の間に活性層3を挟み込んでなる構造となっている。また、この半導体積層構造110の一端側端面には低反射膜が、他端側端面に高反射膜がコーティングされており、これにより共振器が構成されており、低反射膜側端面からレーザ光が出射方向Ldに沿って出射されるようになってい

【0037】そしてこのDFBレーザ101では、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期構造を有する埋め込み格子構造のガイド層51を、その構成材料であるn-In, Ga-, As, P-, の組成を共

10

20

30

40

50

振器長方向に沿って変化させた構造としている。これにより上記(1)式のガイド層51と上クラッド4との間での屈折率差 Δn が共振器長方向にて変化し、これに応じて結合定数 κ の分布が、共振器長方向における変化を有するものとなる。その他の構成は従来のDFBレーザ200と同一である。

【0038】また、ここでは、上記ガイド層51を構成する n -InGaAsPの材料組成の分布は、共振器の低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて、バンドギャップの波長換算値 λ_g が、0.92 μm 付近から1.67 μm 付近まで徐々に直線的に変化するような分布としている。なお、ここでは共振器端面間の距離は300 μm 程度としており、またその高反射膜側端面での結合定数 κ は0、低反射膜側端面での結合定数は2~3としている。

【0039】次に製造方法について説明する。このような構成のDFBレーザ101の製造方法は、従来のDFBレーザ200の製造方法とは、ガイド層51となるInGaAsP層51a(図2(b),(g)参照)の成長を、図1(c)に示す選択成長用マスク30を用いてバンドギャップ制御選択成長法により行う点のみ異なっている。このマスク30は、ガイド層となるInGaAsP層を形成すべき領域R1の両側に相対向するよう配置され、その幅が、共振器の高反射膜側端面から低反射膜側端面にかけて徐々に増大した絶縁膜30a, 30bからなる。

【0040】以下、簡単に説明する。図2及び図3は上記DFBレーザの製造方法を主要工程順に説明するための側面図及び断面図であり、図2(a)~(e), 図3(a)~(e)は、該DFBレーザの低反射膜側端面の構造を、図2(f)~(j), 図3(f)~(j)は、リッジ部分の、共振器長方向と平行な断面の構造をそれぞれ工程順に示している。

【0041】まず、 p -InP基板1上に、厚さ1.5 μm の p -InP層2a, i -InGaAsPからなる厚さ0.1 μm 程度の歪み多重量子井戸層3a, 及び厚さ0.15 μm の n -InP層4aを、MOCVD法により順次成長し、その後、該 n -InP層4a上に、図1(c)に示すように選択成長用マスク30を形成する(図2(a),(f))。このマスク30は、所定間隔隔てて相対向する一対の絶縁膜30a, 30bからなり、各絶縁膜30a, 30bは、一端側から他端側にかけてその幅が徐々に減少した平面形状を有している。

【0042】次に、上記マスク30を用いて、MOCVD法により n -InGaAsP層51aの選択成長を行う(図2(b),(g))。この成長時には、上記マスク30の平面形状に応じて成長種の分布に偏りが生じ、該成長されたInGaAsP層5aの組成は、その一端側から他端側にかけて直線的に変化したものとなっている。

【0043】その後は、従来のDFBレーザの製造方法

における、図24(b),(f)及び24図(c),(g)に示す工程と同様に処理を行って、上記 n -InGaAsP層51aを加工し、InGaAsP領域とスペース領域とが上記所定方向に交互に並ぶ周期構造を有する、平面ストライプ形状の n -InGaAsP層51bを形成する(図2(c),(h)及び図2(d),(i)参照)。さらに、SiO₂マスク20aを除去した後、再びMOCVD法を用いて低濃度コンタクト層としての n -InP層6aを、該InGaAsP層51aのスペース領域が埋め込まれるよう全面に成長する(図2(e),(j))。

【0044】次に、上記所定方向に沿って所定の幅を有する帯状マスク20bを形成し(図3(a),(f))、これを用いた選択エッチングにより帯状リッジ部220を形成し(図3(b),(g))、さらに該マスク20bを用いた選択成長により電流ブロック層7a~7cを形成する(図3(c),(h))。

【0045】その後は、図25(d),(i)に示す工程と同様の処理を行って、高濃度コンタクト層9及び絶縁膜8を形成し(図3(d),(i))、さらに図25(e),(j)に示す工程と同様の処理を行ってオーミック性の n 電極10b及び p 電極10aを形成し(図3(e),(j))、これによりDFBレーザ101を完成する。

【0046】次に作用効果について説明する。本実施の形態1では、光導波領域にて上記共振器長方向における結合定数 κ を、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向にて変化させたので、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を効果的に抑制することができる。また、上記光導波領域にて上記共振器長方向における実効屈折率を、上記ガイド層51を構成する半導体結晶の組成を変えることにより変化させたので、上記光導波領域での実効屈折率の変化により共振器内の結合定数を制御性よく変化させることができる。

【0047】また、ガイド層51となるInGaAsP層の成長には、その幅が共振器長方向に沿って変化した平面形状の選択成長用マスク30を用いるので、成長されるInGaAsP層の組成を上記マスク30の幅により簡単に調整することができる。また、この選択成長用マスク30の形状を変化させることにより、様々な関数に対応した結合定数 κ の分布を実現することも可能である。

【0048】なお、実施の形態1では、分布帰還を発生させるためのガイド層の構造として、埋め込み回折格子構造を示したが、DFBレーザのガイド層の構造はこれに限るものではない。

【0049】図4(a)は、本実施の形態1の変形例1として、分布帰還を発生させるための波型ガイド層を有するDFBレーザを断面構造を示している。

【0050】図において、101aはこの変形例1によるDFBレーザである。このDFBレーザ101aは、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期

構造を有する波型ガイド層 511 を有している。このガイド層 511 を構成する $n\text{-InGaAsP}$ の組成は、共振器長方向に沿って変化したものとなっており、これにより光導波領域にて上記共振器長方向における結合定数が、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向にて変化している。その他の構成は上記実施の形態 1 の DFB レーザ 101 と同一である。

【0051】なお、上記波型ガイド層 511 は、図 2 (d), (i) に示す工程での InGaAsP 層の選択的なエッチング処理を、 InGaAsP 層がその層厚方向に完全にエッチングされるまでに停止することにより形成することができる。

【0052】このような構成の DFB レーザ 101 a においても上記実施の形態 1 と同様な効果が得られる。

【0053】また、図 4 (b) は、本実施の形態 1 の変形例 2 として、活性層厚変調型 DFB レーザの断面構造を示している。

【0054】図において、101 b はこの変形例 2 による DFB レーザであり、この DFB レーザ 101 b では、レーザ光を発生するための半導体積層構造 112 を、波型活性層 31 を上下のクラッド層 2, 4 で挟み込んでなる構造としている。この波型活性層 31 は、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期構造を持つよう、その層厚を共振器長方向にて一定周期で変化させたものである。またこの DFB レーザ 101 b では、ガイド層 512 を、その組成が共振器長方向に沿って変化した、均一な層厚の $n\text{-InGaAsP}$ 層から構成している。その他の構成は実施の形態 1 の DFB レーザ 101 と同一である。

【0055】なお、上記波型活性層 31 は、図 2 (a), (f) に示す工程にて $i\text{-InGaAsP}$ 層 3 a を形成した後、該 $i\text{-InGaAsP}$ 層 3 a に対して、上記変形例 1 の DFB レーザ 101 a のガイド層 511 のエッチング処理と同様な処理を施すことにより形成することができる。

【0056】このような構成の DFB レーザ 101 b においても上記実施の形態 1 と同様な効果が得られる。

【0057】実施の形態 2. 図 5 は本発明の実施の形態 2 による DFB レーザを説明するための図であり、図 5 (a) は、そのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造を示している。

【0058】図において、図 2 3 と同一符号は従来の DFB レーザ 200 と同一のものを示し、102 は、レーザ光を発生するための半導体積層構造 120 を有する本実施の形態 2 の DFB レーザである。この半導体積層構造 120 は、活性層 3 を、上下のクラッド層 2, 4 2 の間に挟み込んで構成されている。この上クラッド層 42 上には、光波の分布帰還のための周期構造を持つ埋め込み格子構造の $n\text{-InGaAsP}$ ガイド層 52 が形成さ

れている。また、半導体積層構造 120 の一端側端面に低反射膜が、他端側端面に高反射膜がコーティングされており、これにより共振器が構成されている。

【0059】そして、この実施の形態 2 では、上クラッド層 42 は、その層厚を、共振器の低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて徐々に増大させた構造とし、共振器長方向に沿って、活性層 3 から $n\text{-InGaAsP}$ ガイド層 52 までの距離が変化した構造としている。なお、ここでは共振器端面間の距離は $300\mu\text{m}$ 程度としており、またその高反射膜側端面での結合定数 κ は 0、低反射膜側端面での結合定数 κ は 2~3 としている。

【0060】このような構成の DFB レーザ 102 の製造方法は、従来の DFB レーザ 200 の製造方法とは、上クラッド層となる $n\text{-InP}$ 層 42 a のエピタキシャル成長の際、図 5 (c) に示す選択成長用マスク 40 を用いてその層厚を制御する点のみ異なっている (図 6 (a), (f) 参照)。このマスク 40 は、上クラッド層 42 となる InP 層を形成すべき領域 R2 の両側に相対向するよう配置され、その幅が、共振器の低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて徐々に増大した一対の絶縁膜 40 a, 40 b からなる。

【0061】以下、製造方法について簡単に説明する。図 6 及び図 7 は上記 DFB レーザの製造方法を主要工程順に説明するための側面図及び断面図であり、図 6 (a) ~ (e), 図 7 (a), (b) は、該 DFB レーザの低反射膜側端面の構造を、図 6 (f) ~ (j), 図 7 (c), (d) はそのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造をそれぞれ工程順に示している。

【0062】まず、 $p\text{-InP}$ 基板 1 上に、厚さ $1.5\mu\text{m}$ の $p\text{-InP}$ 層 2 a, 及び $i\text{-InGaAsP}$ からなる厚さ $0.1\mu\text{m}$ 程度の歪み多重量子井戸層 3 a を、MOCVD 法により順次成長し、その後、該歪み多重量子井戸層 3 a 上に、図 5 (c) に示すように選択成長用マスク 40 を形成する (図 6 (a), (f))。

【0063】次に、上記マスク 40 を用いて、MOCVD 法により $n\text{-InP}$ 層 42 a の選択成長を行う (図 6 (a), (f))。この成長時には、上記マスク 40 の平面形状に応じて成長ガスの濃度分布に偏りが生じ、マスク幅の広い側では、マスク幅の狭い側に比べて $n\text{-InP}$ 層 42 a の層厚が厚くなる。

【0064】さらに、全面に $n\text{-InGaAsP}$ 層 52 a を形成し (図 6 (b), (g))、その後は、従来の DFB レーザの製造方法における、図 2 4 (b), (f) 及び図 2 4 (c), (g) に示す工程と同様に処理を行って、上記 $n\text{-InGaAsP}$ 層 52 a を加工し、 InGaAsP 領域とスペース領域とが上記所定方向に交互に並ぶ周期構造を有する $n\text{-InGaAsP}$ 層 52 b を形成する (図 6 (c), (h) 及び図 6 (d), (i) 参照)。

【0065】そして、 SiO_2 マスク 20 a を除去した後、再び MOCVD 法を用いて低濃度コンタクト層とし

ての n -InP層6aを、該InGaAsP層52bのスペース領域が埋め込まれるよう全面に成長する(図6(e),(j))。

【0066】その後は、上記実施の形態1のDFBレーザ101の製造方法と同様、帯状マスク20bの形成(図7(a),(c))、及びこれを用いた選択エッチング(図7(b),(d))を行って、帯状リッジ部220を形成し、さらに図3(c)~(e)及び図3(h)~(j)に示す工程と同様の処理を行って、本実施の形態2のDFBレーザ102を完成する。

【0067】次に作用効果について説明する。本実施の形態2では、活性層3とガイド層52との距離を共振器長方向にて変化させたので、上記(1)式におけるガイド層への光の浸み出し率 Γ が変化することとなり、これにより結合定数の共振器長方向における変化が生ずることとなる。また、結合定数は、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、共振器長方向にて変化しているのので、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を効果的に抑制することができる。

【0068】また、本実施の形態2では、 n 型InPクラッド層42の層厚により結合定数を変化させるようにしているので、該クラッド層42の層厚がエピタキシャル成長時に制御できることから、結合定数 κ の制御性、再現性を優れたものとできる。

【0069】なお、上記実施の形態2では、分布帰還を発生させるためのガイド層の構造として、埋め込み回折格子構造を示したが、DFBレーザのガイド層の構造は上述したようにこれに限るものではない。

【0070】図5(b)は、本実施の形態2の変形例として、分布帰還を発生させるための波型ガイド層を有するDFBレーザを断面構造を示している。

【0071】図において、102aはこの変形例によるDFBレーザであり、このDFBレーザ102aは、上記格子構造のガイド層52に代えて、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期構造を有する波型ガイド層521を有している。その他の構成は上記実施の形態2のDFBレーザ102と同一である。

【0072】なお、上記波型ガイド層521は、図6(d),(i)に示す工程でのInGaAsP層の選択的なエッチング処理を、InGaAsP層がその層厚方向に完全にエッチングされるまでに停止することにより形成することができる。

【0073】このような構成のDFBレーザ102aにおいても上記実施の形態2と同様な効果が得られる。

【0074】また、図示していないが、本実施の形態2の変形例として、レーザ光を発生するための半導体積層構造120を構成する活性層を、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期構造を持つよう波型構造とした利得結合型DFBレーザも考えられることは言うまでもない。この場合、ガイド層は、その活性層との

距離が共振器長方向に沿って変化した、均一な層構造のInGaAsP層から構成する。

【0075】実施の形態3. 図8は本発明の実施の形態3によるDFBレーザを説明するための図であり、図8(a)はそのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造を示し、図8(b)は活性層とガイド層との位置関係を示す平面図である。また、図8(c)は、該DFBレーザの製造プロセスにて用いる選択処理用マスクの形状を示す平面図である。

10 【0076】図において、図23と同一符号は従来のDFBレーザ200と同一のものを示し、103は、レーザ光を発生するための半導体積層構造130を有する本実施の形態3のDFBレーザである。この半導体積層構造130は、 i -InGaAsPからなる歪み多重量子井戸活性層(i -InGaAsP系MQW活性層)33を、 p -InP下クラッド層23及び n -InP上クラッド層43の間に挟み込んで構成されている。この半導体積層構造130の一端側端面に低反射膜が、他端側端面に高反射膜がコーティングされており、これにより共振器が構成されている。

【0077】さらに、この実施の形態3では、上記半導体積層構造130は、そのレーザ光出射方向と垂直な方向の幅が、その低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて徐々に狭くなる平面形状を有しており、これがリッジ部223(図9(b)参照)となっている。

【0078】該リッジ部223の両側の基板1上には、電流ブロック層7a~7cがそれぞれ積層されており、該リッジ部の両側の電流ブロック7a~7cにより光閉じ込め構造113a, 113bが構成されている。

30 【0079】そして、上記リッジ部223及びその両側の電流ブロック層7c上には、共振器長方向における周期構造を有する埋め込み格子構造のガイド層53が形成されている。またこのガイド層53上には、隣接するInGaAsP領域の間のスペース部分を埋め込むよう全面に低濃度の n -InPコンタクト層6が形成され、該低濃度コンタクト層6上には高濃度の n -InPコンタクト層9が形成されている。

40 【0080】このような構成のDFBレーザ103では、ガイド層53の、活性層33と対向する領域の面積が、共振器長方向に沿って、共振器の低反射膜側の端面から高反射側の端面にかけて徐々に減少しており、これにより、上記(1)式におけるガイド層への光の浸み出し率 Γ が共振器長方向にて変化することとなり、結合定数 κ の共振器長方向における変化が生ずることとなる。また、結合定数は、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、共振器長方向にて変化している。

50 【0081】次に製造方法について説明する。図9及び図10は上記DFBレーザの製造方法を主要工程順に説明するための断面図であり、図9(a)~(d), 図10(a),(b)は、該DFBレーザの低反射膜側端面の構造

を、図9(e)～(h)、図10(c)、(d)は、そのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造をそれぞれ工程順に示している。

【0082】まず、p-InP基板1上に、厚さ1.5 μm のp-InP層2a、i-InGaAsPからなる厚さ0.1 μm 程度の歪み多重量子井戸層3a、及び厚さ0.15 μm のn-InP層4aを、MOCVD法により順次成長し、その後、該n-InP層4a上に、図8(c)に示すように絶縁性マスク50を形成する(図9(a)、(e))。このマスク50は、その一端側から他端側にかけてその幅が徐々に減少した平面形状を有している。

【0083】次に、上記マスク50を用いて、上記各層4a、3a、2a及び基板1の上部を選択的にエッチングして、ストライプ状リッジ部223を形成する(図9(b)、(f))。続いて、該マスク50を用いて、上記基板1上の該リッジ部223の両側に選択的にp-InP電流ブロック層7a、n-InP電流ブロック層7b、p-InP電流ブロック層7cを順次成長し、これにより上記光閉じ込め構造113a、113bを形成する(図9(c)、(g))。

【0084】その後、上記リッジ部223及び電流ブロック層7c上にn-InGaAsP層53aを形成し(図9(d)、(h))、さらに図24(b)、(f)及び24(c)、(g)に示す工程と同様に処理を行って、上記n-InGaAsP層53aを加工し、InGaAsP領域とスペース領域とが上記所定方向に交互に並ぶ周期構造を有するn-InGaAsPガイド層53を形成する(図10(a)、(c))。

【0085】そして、SiO₂マスク20aを除去した後、再びMOCVD法を用いて低濃度n-InPコンタクト層6を、該InGaAsP層53のスペース領域が埋め込まれるよう全面に成長し、さらにその上に高濃度n-InPコンタクト層9を成長する(図10(b)、(d))。

【0086】その後は、上記図25(d)、(i)及び図25(e)、(j)に示す工程と同様の処理により、p電極10a及びn電極10bを形成して、DFBレーザ103を完成する。

【0087】次に作用効果について説明する。このように本実施の形態3では、活性層33を、その幅が共振器の低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて徐々に減少した構造としたので、上記(1)式におけるガイド層への光の浸み出し率 Γ が共振器長方向にて変化することとなり、結合定数 κ の共振器長方向における変化が生ずることとなる。また、結合定数は、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、共振器長方向にて変化しているので、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を効果的に抑制することができる。

【0088】さらに、本実施の形態3では、光導波路と

なる帯状リッジ部223のエッチング加工により、上記結合定数が該共振器内での電界分布が均一化されるよう、共振器長方向にて変化した構造を実現できるので、DFBレーザの形成プロセスにて選択成長処理を行う必要がなく、このため上記実施の形態1、2よりもDFBレーザの作製を容易に行うことができる効果もある。

【0089】なお、上記実施の形態3では、活性層33の幅を共振器長方向にて変化した構造を示したが、活性層の幅だけでなくガイド層の幅も、共振器長方向に変化させるようにしてもよく、このような構成のDFBレーザを、実施の形態3の変形例として以下に説明する。

【0090】図11は本発明の実施の形態3の変形例によるDFBレーザを説明するための図であり、図11(a)はそのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造を示し、図11(b)は活性層とガイド層との位置関係を示す平面図である。また、図11(c)は、該DFBレーザの製造プロセスにて用いる選択処理用マスクの形状を示す平面図である。

【0091】図において、103aはこの変形例によるDFBレーザであり、このDFBレーザ103aでは、上記半導体積層構造130だけでなく、ガイド層531も、その共振器長方向と垂直な方向の幅を共振器長方向にて、上記積層構造130の幅と同様に変化した構造となっている。その他の構成は実施の形態3のDFBレーザ103と同一である。

【0092】このような構成のDFBレーザ103aの製造方法は、従来のDFBレーザ200の製造方法とは、その図25(a)、(f)に示す工程にて、選択エッチング用マスクとして、図11(c)に示す平面パターンを有するマスク60を用いる点のみ異なっている。

【0093】このような構造のDFBレーザ103aにおいても、ガイド層531の、活性層33と対向する領域の面積が、共振器長方向に沿って、共振器の低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて徐々に減少しており、これにより、上記(1)式におけるガイド層への光の浸み出し率 Γ が共振器長方向にて変化することとなり、結合定数 κ の共振器長方向における変化が生ずることとなる。また、結合定数は、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、共振器長方向にて変化しているので、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を効果的に抑制することができる。

【0094】さらに、このDFBレーザ103aでは、従来のDFBレーザ200の製造プロセスにおけるメサエッチングの際のエッチングマスクの形状を変えるだけで、SHB現象による電界の不均一な分布を均一化するための構造を簡単に実現できるという効果もある。

【0095】実施の形態4。図12は本発明の実施の形態4によるDFBレーザを説明するための図であり、図12(a)はそのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造を示し、図12(b)はその結合定数の共振器

長方向における分布を示している。

【0096】図において、図23と同一符号は従来のDFBレーザ200と同一のものを示し、104は、レーザ光を発生するための半導体積層構造110を有する本実施の形態4のDFBレーザである。この半導体積層構造110は、従来のDFBレーザ200における半導体積層構造210と同様、上下のクラッド層2, 4の間に活性層3を挟み込んで構成されている。また、半導体積層構造110の一端側面に低反射膜が、他端側面に高反射膜がコーティングされており、これにより共振器が構成されている。また、上記半導体積層構造110上には、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期構造を有する埋め込み格子構造の多層光ガイド層54が形成されている。

【0097】そしてこのDFBレーザ104では、多層光ガイド層54は部分的に多層構造となっており、この多層構造では、上記共振器長方向に沿って積層数が変化している。また、該ガイド層54における積層数は、上記光導波領域にて該共振器長方向における実効屈折率の変化が生ずるよう変化させている。

【0098】具体的には、上記ガイド層54は、その高反射膜側部分G1を1層構造とし、その低反射膜側部分G3を3層構造とし、さらにその中間部分G2を2層構造としたものである。つまり、上記高反射膜側部分G1は、第1のn-InGaAsPガイド層54aからなり、上記中間部分G2は、第1, 第2のn-InGaAsPガイド層54a, 54bからなり、上記低反射膜側部分G3は、第1, 第2, 第3のn-InGaAsPガイド層54a, 54b, 54cからなる。ここで、各ガイド層の組成はそれぞれ異なるものとしている。こ

こで、上記第1～第3のn-InGaAsPガイド層54a～54cはそれぞれ、層厚が20nm, Sのドープによるキャリア濃度が $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度となっており、各ガイド層のバンドギャップエネルギーは、波長換算値で表すと、1.3～0.9 μm の範囲内で適宜設定されている。この場合、下側のガイド層では上側のガイド層に比べて、そのバンドギャップエネルギーの波長換算値を大きく設定するのが好ましい。

【0099】そして、この実施の形態4のDFBレーザ104では、多層光ガイド層54の積層数の変化によ

り、上記(1)式における屈折率差 Δn とガイド層への浸み出し率 Γ が階段状に変化しており、これによって、結合定数 κ の分布は、図12(b)に示すように、該共振器内での電界分布を均一化するものとなっている。

【0100】このような構成のDFBレーザ104における多層光ガイド層54は、上記第1～第3のn-InGaAsP層54a～54cを順次積層した後、各層を

選択的に除去することにより形成することができる。

【0101】次に製造方法について説明する。図13及び図14は上記DFBレーザの製造方法を主要工程順に

説明するための側面図及び断面図であり、図13(a)～(c), 図14(a)～(c)は、その低反射膜側端面の構造を、図13(d)～(f), 図14(d)～(f)は、そのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造をそれぞれ工程順に示している。

【0102】まず、p-InP基板1上に、厚さ1.5 μm のp-InP層2a, i-InGaAsPからなる厚さ0.1 μm 程度の歪み多重量子井戸層3a, 及び厚さ0.15 μm のn-InP層4aをMOCVD法により順次成長し、さらに、該n-InP層4上に第1～第3のn-InGaAsP層54a～54cを順次成長する。その後、高反射膜側部分G1及び中間部分G2に対する選択的なエッチング処理により、これらの部分の第3のn-InGaAsP層54cを選択的に除去し、さらに上記高反射膜側部分G1に対する選択的なエッチング処理により、この部分の第2のn-InGaAsP層54bを選択的に除去する(図13(a), (d))。

【0103】続いて、干渉露光法を用いて写真製版を行い、これにより形成されたフォトリソマスクを用いてSiO₂膜のバターニングを行い、所定方向における周期構造を有するSiO₂マスク40aを形成する(図13(b), (e))。

【0104】さらに、該SiO₂マスク40aをエッチングマスクとして、上記第1～第3のn-InGaAsP層54a～54cをエッチングして、共振器長方向に沿って、InGaAsP領域とスペース領域とが交互に並ぶ周期構造を有する多層構造のInGaAsP層541を形成する(図13(c), (f))。

【0105】次に、SiO₂マスク40aを除去した後、再びMOCVD法を用いてn-InP層6aを、該InGaAsP層541のスペース領域が埋め込まれるよう全面に成長する(図14(a), (d))。

【0106】その後、上記所定方向に沿って所定の幅を有する帯状マスク20bを形成し(図14(b), (e))、これをエッチングマスクとして、基板上の各半導

体層を選択的にエッチングして、断面メサ形の帯状リッジ部224を形成する(図14(c), (f))。これにより、つまり、上記リッジ部224を構成する下クラッド層2, 活性層3, 上クラッド層4, 多層光ガイド層54, 及び低濃度コンタクト層6が形成される。

【0107】そして、従来のDFBレーザの製造方法における図25(c), (h)に示すように、上記マスク20bを用いた選択成長を行って、帯状リッジ部224の両側に電流ブロック層7a～7cを形成し、さらに、図25(d), (i)に示す工程と同様に処理を行って、高濃度コンタクト層9を形成し、最後に図25(e), (j)に示す工程と同様に処理を行ってオーミック性のn電極10b及びp電極10aを形成する。これによりDFBレーザ104を完成する。

【0108】次に作用効果について説明する。このよう

な構成のDFBレーザ104では、レーザ光の分布帰還のための周期構造をもつ多層光ガイド層54を、その低反射膜側部分G3、中間部分G2、及び高反射膜側部分G1にて、これを構成する半導体層の積層数を変化させた構造としたので、上記(1)式における屈折率差 Δn とガイド層への浸み出し率 Γ が階段状に変化し、図12(b)に示すような結合定数 κ の分布が実現できる。また、結合定数は、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、共振器長方向にて変化しているので、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を効果的に抑制することができる。

【0109】また、この実施の形態4では、ガイド層を多層構造としているので、選択成長法で単層構造のガイド層の組成を徐々に変化させる方法に比べると、大きく組成の異なる材料を積層することができ、このため共振器両端面間での屈折率差 Δn の変化を大きくすることができ、これにより結合定数 κ の変化量を大きくすることができる。

【0110】実施の形態5. 図15は本発明の実施の形態5によるDFBレーザを説明するための図であり、図15(a)はそのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造を示し、図15(b)はその結合係数の共振器長方向における分布を示している。

【0111】図において、図23と同一符号は従来のDFBレーザ200と同一のものを示し、105は、レーザ光を発生するための半導体積層構造110を有する本実施の形態5のDFBレーザである。この半導体積層構造110は、従来のDFBレーザ200における半導体積層構造210と同様、上下のクラッド層2、4の間に活性層3を挟み込んでなる構造となっている。また、この半導体積層構造110の一端側端面には低反射膜が、他端側端面に高反射膜がコーティングされており、これにより共振器が構成されている。

【0112】そしてこのDFBレーザ105は、共振器にてレーザ光の分布帰還を発生させるための周期構造を有する埋め込み格子構造のガイド層55を有している。このガイド層55は、第1領域と第2領域とが共振器長方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第1及び第2領域間での層厚比が、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向に変化した構造となっている。具体的には、上記ガイド層55を構成する n -InGaAsP層は、共振器長方向に一定ピッチで凹状溝550aを複数形成した構造となっており、該凹状溝550aの深さは、高反射膜側端面に近いものほど浅くなるようになっている。なお、上記 n -InGaAsP層の凹状溝550aの形成部分はガイド層55の第2領域に、また該 n -InGaAsP層の、凹状溝550a間の部分は、ガイド層55の第1領域に対応している。

【0113】次に製造方法について説明する。図16は

上記DFBレーザの製造方法を主要工程順に説明するための図であり、図16(a)~(f)は、その低反射膜側端面の構造を、図16(g)~(l)は、そのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造をそれぞれ工程順に示している。また、図17(a)~(d)は、上記図16(g)~(j)の要部を拡大して示す図である。

【0114】まず、 p -InP基板上に、厚さ $1.5\mu m$ の p -InP下クラッド層2a、厚さ $0.1\mu m$ の i -InGaAsP歪み多重量子井戸層3a、厚さ $0.15\mu m$ の n -InPクラッド層4a、及び厚さ $0.04\mu m$ の n -InGaAsPガイド層55aをMOCVD法により連続的に成長する。その後、図5(c)に示す選択成長用マスク40と同様な平面パターンを有する選択成長用マスク60を、上記ガイド層55a上に形成し、これをマスクとして、MOCVDによる選択成長を行って、共振器長方向にて厚さが変化した低濃度の n -InPコンタクト層66aを成長する(図16(a)、(g)及び図17(a))。このときコンタクト層66aの最も層厚が薄い部分を $0.02\mu m$ 、その最も厚い部分を $0.06\mu m$ とする。これは層厚比として1:3に相当するが、この層厚比は通常の実現技術により十分実現可能である。

【0115】続いて、干渉露光法を用いて写真製版を行い、これにより形成されたフォトマスクを用いてSiO₂膜のパターニングを行い、上記共振器長方向における周期構造を有するSiO₂マスク70を形成する(図16(b)、(h)及び図17(b))。

【0116】次に、メタン系ドライエッチング法を用いて、上記マスク70をエッチングマスクとして基板に対して垂直方向にエッチングを行う(図16(c)、(i)及び図17(c))。このときエッチング深さを $0.06\mu m$ とすると、 n -InPコンタクト層66の層厚が $0.02\mu m$ の部分ではエッチングはガイド層55bの底面まで進むが、その層厚が $0.06\mu m$ の領域ではガイド層55bの上面まででエッチングは停止する。この結果、ガイド層55bとして、その溝形成部分とこれに隣接する平坦部分とでの断面積の比率が、50%から100%まで共振器長方向に沿って徐々に変化したものが得られる。これにより相対的な結合定数は、共振器長方向に沿って1.0から0まで変化する。

【0117】次に、SiO₂マスク70を除去した後、再びMOCVD法を用いて低濃度の n -InP層を、上記ガイド層55bの凹状溝を埋め込むよう形成する。これにより、低濃度 n -InPコンタクト層6aが形成される(図16(d)、(j)及び図17(d))。このコンタクト層6aは、ガイド層55bの平坦部分での厚さが約 $1.5\mu m$ となっている。

【0118】その後、所定の幅を有する帯状マスク20bを上記共振器長方向に沿って形成し(図16(e)、(k))、これをエッチングマスクとして、基板上の各半

導体層を選択的にエッチングして、断面メサ形の帯状リッジ部 225 を形成する (図 16(f), (l))。つまり、上記リッジ部 225 を構成する、下クラッド層 2、活性層 3、上クラッド層 4、ガイド層 55、及び低濃度コンタクト層 6 を形成する。

【0119】その後、上記帯状マスク 20b を選択成長用マスクとして、該リッジ部 225 の両側に電流ブロック層 7a~7c を形成し、さらに図 25(d), (i) に示す工程と同様の処理を行って高濃度 n-InP コンタクト層 9 を形成し、最後に図 25(e), (j) に示す工程と同様の処理を行ってオーミック性の n 電極 10b 及び p 電極 10a を形成する。これにより DFB レーザ 105 を完成する。

【0120】次に作用効果について説明する。上記 DFB レーザ 105 のガイド層 55 では、共振器長方向と平行な断面における、隣接する第 1 領域 (平坦部分) と第 2 領域 (溝形成部分) とでの断面積の比率 (以下、デューティ比ともいう。) を、該共振器長方向にて変化させているので、共振器内の相対的な結合定数を 0 から 1.0 まで変化させることができる。

【0121】すなわち、例えば、選択成長を用いて、ガイド層の厚みを変えて結合定数を変化させる方法では、共振器の一端側と他端側との間での結合定数比を 1 対 3 までしかとれないが、上記実施の形態 5 のようにガイド層 55 の断面積のデューティ比を変える方法では、共振器内にて結合定数比は 1 から無限大まで変えることができる。

【0122】通常の DFB レーザにおいては、回折格子を構成する InGaAsP ガイド層は、隣接する第 1 領域と第 2 領域との合計断面積に対する第 1 領域の断面積の比率が 50% となるよう形成される。この場合、回折格子による結合定数 k は、設計されたガイド層の厚さおよび n-InP クラッド層の厚さに対して最大値となる。

【0123】これを図 18 を用いて説明すると、図に示すようにマーク部分の面積率 (つまり隣接する第 1 及び第 2 領域における InGaAsP 部分の占める割合) が 50% のとき、相対的な結合定数は最大 (1.0) となるが、マーク部分の面積率が 50% から増えると相対的な結合定数は線型的に減少する。例えば、マーク部分の面積率が 75% になると、相対的な結合定数は、マーク部分の面積率が 50% の場合の $1/2$ となり、さらにマーク部分の面積率が 100% になると、相対的な結合定数は 0 になる。なお、上記マーク部分の面積率が 50% から減少する場合も同様に相対的な結合定数は線型的に減少し、マーク部分の面積率が 0% になると結合定数も 0 となる。

【0124】このようなことから、図 15 に示すように、ガイド層の隣接する第 1 及び第 2 領域における断面積を共振器長方向に沿って徐々にかつ線型的に変化させ

ることにより、共振器内の共振器長方向における各部位が異なる結合定数を有することになる。例えば、図 15(b) に示すガイド層 55 の構造に対応した共振器内での結合定数の分布は、図 15(b) に示すように低反射膜側端面 L_1 から高反射膜側端面 L_2 にかけて線型的に変化したものとなる。

【0125】この結果、空間的ホールバーニングによる共振器内の光子分布の不均一性が、共振器長方向における結合定数の線型的な変化により補償されることとなり、光子分布の平坦化が図られる。

【0126】なお、ガイド層が均一な周期の回折格子構造を有し、かつ共振器の両端面に低反射膜、及び高反射膜のコーティング処理を施した DFB レーザでは、回折格子の共振器端面における位相によって光子分布は様々な関数に対応したものとなるため、共振器がこの光子分布をうまく補償できる結合定数分布を持つ場合にのみ SHB 現象の抑制効果が得られることに留意すべきである。

【0127】次に本実施の形態 5 の変形例について説明する。図 19 はこの変形例による DFB レーザを説明するための図であり、図 19(a) はそのリッジ部における共振器長方向と平行な断面の構造を示し、図 19(b) はその結合係数の共振器長方向における分布を示している。

【0128】図において、図 15 と同一符号は実施の形態 5 の DFB レーザ 105 と同一のものを示し、105a は、実施の形態 5 の変形例による $\lambda/4$ シフト型 DFB レーザである。この DFB レーザ 105a では、ガイド層 551 により構成される回折格子は、その位相が共振器の中央で半波長だけ変化しており、共振器の両端面には無反射コーティングが施されている。

【0129】このような構成の DFB レーザ 105a では、光子分布は回折格子の共振器端面での位相に依らないため、結合定数の共振器長方向に傾斜した分布は、常に空間的ホールバーニングを抑圧する効果を持つ。

【0130】例えば、上記 DFB レーザ 105a では、光子の分布は、その密度が図 19(b) に点線で示すように、共振器長方向における共振器中央部分で最大となり、共振器両端面側に近づくにつれて小さくなる分布となっており、この場合には、図 19(b) に示すように、共振器中央の位相シフト位置に対して対称であり、しかもその値が該位相シフト位置において極小値を持ち、かつ共振器端面に近づくにつれて増加する結合定数の分布が有効である。

【0131】なお、本実施の形態 5 では、結合定数が共振器長方向にて線型的 (1 次関数的) に変化するようにした場合を示したが、結合定数の分布はこれに限るものではない。

【0132】実施の形態 6. 図 20 は本発明の実施の形態 6 による DFB レーザを説明するための図であり、結

合定数の分布を示している。

【0133】この実施の形態6のDFBレーザは、ガイド層を、その隣接する第1及び第2領域における断面積を共振器長方向に沿って徐々にかつ2次関数的に変化させている点が上記実施の形態5のDFBレーザと異なっている。

【0134】このような構成では、例えば、ガイド層の構造に対応した共振器内での結合定数の分布は、図20に示すように低反射膜側端面から高反射膜側端面にかけて2次関数的に変化したものとなる。

【0135】空間的ホールバーニングによる共振器内の光子分布は、一般的に、図20に点線で示すように、共振器長方向にて2次関数的に変化したものとなっており、理論計算上は、結合定数の共振器長方向における変化が2次関数的なものである場合、より効果的に空間的ホールバーニングが抑えられることとなる。

【0136】実施の形態7. 図21は本発明の実施の形態7によるDFBレーザを説明するための図であり、図21(a)は、そのリッジ部における共振器長方向に平行な断面の構造を示し、図21(b)は、該DFBレーザを構成する半導体層の、共振器長方向の所定の位置での層厚方向における組成の分布を示している。

【0137】図において、図15と同一符号は実施の形態5のDFBレーザ105と同一のものを示し、107は、共振器長方向に一定ピッチで凹状溝551を複数形成した構造のガイド層57を有する本実施の形態7のDFBレーザである。このガイド層57は、上記実施の形態5と同様、第1領域と第2領域とが共振器長方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第1及び第2領域間での層厚比が、該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向に変化した構造となっている。具体的には、上記ガイド層57を構成する $n\text{-InGaAsP}$ 層は、共振器長方向に一定ピッチで凹状溝550aを複数形成した構造となっており、該凹状溝550aの深さは、高反射膜側端面に近いものほど浅くなるようになっている。

【0138】そしてこの実施の形態7では、上記ガイド層57を構成する InGaAsP 層は、層厚方向に組成が連続的に変化した構造としている。

【0139】このDFBレーザ107の製造方法は、ガイド層57としての InGaAsP 層の成長工程にて、成膜用ガスの流量比を変化させる点でのみ、上記実施の形態5の上記DFBレーザ105の製造方法と異なっている。なお、 InGaAsP 層の組成は、例えば、そのバンドギャップエネルギーの波長換算値で表すと、その成長中にガス流量比の制御により、 $1.00\mu\text{m}$ から $1.18\mu\text{m}$ まで連続的に変えることができる。

【0140】この実施の形態7では、ガイド層57をその組成が層厚方向に連続的に変化し、かつ共振器長方向に一定ピッチで形成した複数の凹状溝を有する構造とし

ているので、その製造プロセスで用いられる $n\text{-InP}$ 層66a(図17(a)参照)の層厚の変化が1次関数に対応したものであっても、共振器長方向での結合定数の変化は、高次関数となる。従って、層厚が共振器長方向にて変化した $n\text{-InP}$ 層66aの選択成長を、その層厚の変化が高次関数に対応したものとるように制御しなくても、空間的なホールバーニングの抑圧に有利な関数形状に対応した結合係数の分布を容易に実現できる効果がある。

10 【0141】

【発明の効果】以上のようにこの発明(請求項1)に係る分布帰還型半導体レーザによれば、活性層とガイド層との光結合強度の、光導波領域での光導波方向における周期的な変化により、該光導波領域にてレーザ光の分布帰還を発生させる共振器構造を備え、上記光結合強度に対応する結合係数を変化させる要素である該活性層の幅、該ガイド層の材料組成、及びガイド層と活性層との距離のうちの少なくとも1つの要素を共振器長方向にて変化させたので、結合定数の共振器長方向における分布により、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制可能な構造を実現できる。

20 【0142】この発明(請求項2)によれば、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層を構成する半導体結晶の組成を、上記共振器長方向における結合係数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたので、上記光導波領域での実効屈折率の変化により共振器の持つ結合定数を変化させて、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を制御性よく抑制することができる。

30 【0143】この発明(請求項3)によれば、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層と上記活性層との間の距離を、上記共振器長方向における結合係数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたので、上記活性層からガイド層への光のしみ出し率により共振器の持つ結合定数を変化させて、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制することができる。

40 【0144】また、ガイド層と上記活性層との間の距離により、上記共振器長方向における結合定数を変化させているので、DFBレーザの製造プロセスにおける半導体層の成長処理により結合定数を変化させることができ、結合定数の制御性及び再現性を優れたものとできる。

50 【0145】この発明(請求項4)によれば、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記活性層の共振器長方向と垂直な方向の幅を、上記光導波領域にて該共振器長方向における結合係数の変化が生ずるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたの

で、上記活性層からガイド層への光のしみ出し率により共振器の持つ結合定数を変化させて、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制することができる。

【0146】また、活性層の幅により上記共振器長方向における結合定数を変化させているので、結合定数が変化した構造のDFBレーザを、活性層のエッチング処理により簡単に製造できる効果もある。

【0147】この発明（請求項5）によれば、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記光導波領域を、上記活性層、上下のクラッド層、及びガイド層にからなる光導波路とし、該光導波路の共振器長方向と垂直な方向の幅を、上記共振器長方向における結合係数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、該共振器長方向における位置に応じて変化させたので、上記活性層からガイド層への光のしみ出し率により共振器の持つ結合定数を変化させて、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制することができる。

【0148】また、上記活性層、上下のクラッド層、及びガイド層にからなる光導波路の幅により上記共振器長方向における結合定数を変化させているので、結合定数が変化した構造のDFBレーザを、通常のメサエッチング処理におけるマスク形状を変えるだけで、簡単に製造できる効果もある。

【0149】この発明（請求項6）によれば、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層の少なくとも一部を多層構造とするとともに、該ガイド層における積層数を、上記共振器長方向における結合係数の変化により該共振器内での電界分布が均一化されるよう、上記共振器長方向にて変化させたので、上記光導波領域での実効屈折率、及び上記活性層からガイド層への光のしみ出し率により、共振器の持つ結合定数を変化させて、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制することができる。

【0150】また、ガイド層を多層構造としているので、単層構造のガイド層に比べてガイド層の組成の変化を大きくすることができ、このため実効屈折率の変化を大きくすることができ、これにより結合定数の大きな変化により、SHB現象による光出力電流特性の大きな線形歪を補償することもできる。

【0151】この発明（請求項7）によれば、上記請求項6記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層の多層構造部分を構成する各半導体層を、その結晶組成が互いに異なるよう構成したので、各半導体層の組成が同一である場合に比べて、ガイド層の組成の変化を大きくすることができ、このため実効屈折率の変化をより大きなものとしてすることができ、これによりSHB現象による光出力電流特性の著しい線形性の劣化を効果的に抑制することができる。

【0152】この発明（請求項8）に係る分布帰還型半導体レーザによれば、光導波領域での光導波方向に対する周期構造を持つよう形成され、該光導波領域にて上記レーザ光の分布帰還を発生させる共振器を構成するガイド層を備え、該ガイド層を、第1領域と第2領域とが共振器長方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第1及び第2領域間での層厚比が該共振器長方向における位置に応じて変化した構造としたので、結合定数の共振器長方向における分布により該共振器内での電界分布が均一化して、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制可能な構造を実現できる。

【0153】また、該ストライプ状平面パターンを有するガイド層における、隣接する第1及び第2領域間での層厚比により結合定数を変化させるようにしたので、共振器の一端側端面と他端側端面とでの結合定数の比率を、1から無限大まで変化させることができ、SHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を、その程度が非常に大きなものまで広い範囲に渡って抑制することができる効果がある。

【0154】この発明（請求項9）によれば、上記請求項8記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記隣接する第1及び第2領域間での層厚比の共振器長方向における変化を、高次関数に対応した変化としたので、SHB現象による共振器内での光子分布が2次関数的なものであることから、より効果的にSHB現象による光出力電流特性の線形性の劣化を抑制することができる効果がある。

【0155】この発明（請求項10）によれば、上記請求項8記載の分布帰還型半導体レーザにおいて、上記ガイド層を構成する半導体結晶の組成を、その層厚方向にて変化させたので、結合定数の共振器長方向における変化が、ガイド層の隣接する第1及び第2領域間での層厚比の該共振器長方向における変化と、ガイド層の組成の共振器長方向における変化とが合成されたものとなる。このためガイド層の隣接する第1及び第2領域間での層厚比が1次関数に対応したものであっても、結合定数の共振器長方向における変化を、高次関数に対応した、SHB現象による共振器内での電界の不均一性の抑制に有利なものとできる効果がある。

【0156】この発明（請求項11）に係る分布帰還型半導体レーザの製造方法によれば、上クラッド層上にガイド層を形成した後、ガイド層上に半導体層を、その厚さの変化が所定方向にて生ずるよう形成し、該半導体層上に該所定方向における周期構造を有するエッチングマスクを形成し、その後、上記膜厚が変化した半導体層及び上記ガイド層を選択的にエッチングするので、第1領域と第2領域とが上記所定方向に交互に配列されたストライプ状平面パターンを有し、隣接する第1及び第2領域間での層厚比が上記所定方向に沿って変化した構造の

ガイド層を簡単に形成することができる。

【0157】この発明（請求項12）によれば、上記請求項1記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法において、上記膜厚が変化した半導体層及びガイド層のエッチング処理を、ドライエッチングにより行うので、上記ガイド層を精度よく形成することができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1によるDFBレーザの断面構造(a)、その結合係数の共振器長方向における分布(b)、その製造プロセスで用いるマスクの形状(c)を示す図である。

【図2】 上記実施の形態1によるDFBレーザの製造方法のメサエッチング処理までの各主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(e)及びそのリッジ部の断面構造(f)～(j)を示す図である。

【図3】 上記実施の形態1によるDFBレーザの製造方法のメサエッチング処理以降の各主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(e)及びそのリッジ部の断面構造(f)～(j)を示す図である。

【図4】 上記実施の形態1の変形例1によるDFBレーザの断面構造(a)及びその変形例2によるDFBレーザの断面構造(b)を示す図である。

【図5】 本発明の実施の形態2によるDFBレーザの断面構造(a)、その変形例によるDFBレーザ(b)の断面構造、及び実施の形態2の製造プロセスで用いるマスクの形状(c)を示す図である。

【図6】 上記実施の形態2によるDFBレーザの製造方法のメサエッチング処理までの各主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(e)及びそのリッジ部の断面構造(f)～(j)を示す図である。

【図7】 上記実施の形態2によるDFBレーザの製造方法のメサエッチング処理以降の各主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)、(b)及びそのリッジ部の断面構造(c)、(d)を示す図である。

【図8】 本発明の実施の形態3によるDFBレーザを断面構造(a)、その活性層とガイド層との位置関係(b)、及びその製造方法に用いるエッチングマスクの平面形状(c)を示す図である。

【図9】 上記実施の形態3によるDFBレーザの製造方法のガイド層形成処理までの各主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(d)及びそのリッジ部の断面構造(e)～(h)を示す図である。

【図10】 上記実施の形態3によるDFBレーザの製造方法のガイド層の加工工程及びコンタクト層の形成工程における、低反射膜側端面の構造(a)、(b)及びそのリッジ部の断面構造(c)、(d)を示す図である。

【図11】 本発明の実施の形態3の変形例によるDFBレーザを断面構造(a)、その活性層とガイド層との位置関係(b)、及びその製造方法に用いるエッチングマスクの平面形状(c)を示す図である。

【図12】 本発明の実施の形態4によるDFBレーザの断面構造(a)、及びその結合係数の共振器長方向における分布(b)を示す図である。

【図13】 上記実施の形態4によるDFBレーザの製造方法のガイド層の加工工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(c)及びそのリッジ部の断面構造(d)～(f)を示す図である。

【図14】 上記実施の形態4によるDFBレーザの製造方法における低濃度コンタクト層の形成工程及びメサエッチング工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(c)及びそのリッジ部の断面構造(d)～(f)を示す図である。

【図15】 本発明の実施の形態5によるDFBレーザの断面構造(a)、及び結合係数の分布(b)を示す図である。

【図16】 上記実施の形態5によるDFBレーザの製造方法の主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(f)及びそのリッジ部の断面構造(g)～(l)を示す図である。

【図17】 図16(g)～(j)に示す断面構造を拡大して示す図(a)～(d)である。

【図18】 上記実施の形態5におけるガイド層の隣接する第1領域（平坦部分）及び第2領域（溝形成部分）にてガイド層構成材料が占める断面積の割合と、結合定数との関係を示す図である。

【図19】 上記実施の形態5の変形例によるDFBレーザの断面構造(a)、及び結合係数の分布(b)を示す図である。

【図20】 本発明の実施の形態6によるDFBレーザの結合係数の分布を示す図である。

【図21】 本発明の実施の形態7によるDFBレーザの断面構造(a)、及び共振器長方向の所定の位置での層厚方向における組成の分布(b)を示す図である。

【図22】 従来のDFBレーザの構造を示す斜視図である。

【図23】 従来のDFBレーザの断面構造(a)、及び該共振器長方向における結合定数の分布(b)を示す図である。

【図24】 従来のDFBレーザの製造方法のメサエッチング処理までの主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(d)及びそのリッジ部の断面構造(e)～(h)を示す図である。

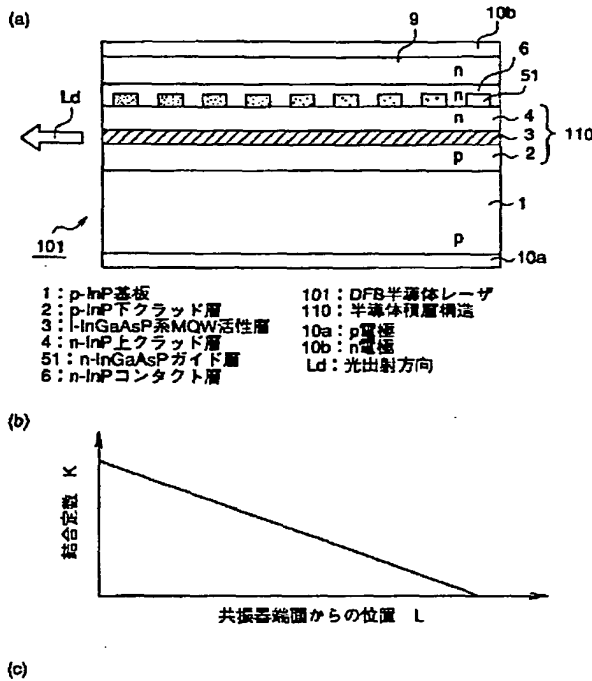
【図25】 従来のDFBレーザの製造方法のメサエッチング処理以降の主要工程における、低反射膜側端面の構造(a)～(e)及びそのリッジ部の断面構造(f)～(j)を示す図である。

【符号の説明】

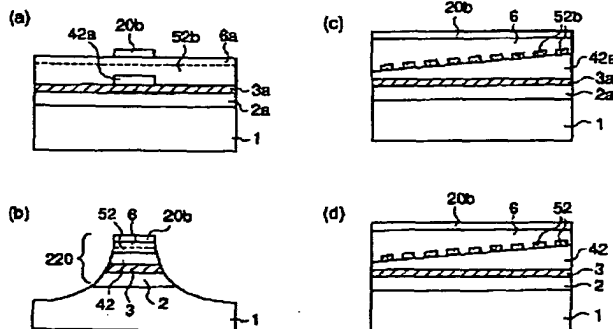
1 p-InP基板、2, 23 p-InP下クラッド層、3, 33 i-InGaAsP系MQW活性層、4, 42, 43 n-InP上クラッド層、6 低濃度

n-InPコンタクト層、7a p-InP下側電流ブロック層、7b n-InP中央電流ブロック層、7c p-InP上側電流ブロック層、9 高濃度n-InPコンタクト層、10a p電極、10b n電極、20a, 20b, 50, 60 エッチング用マスク、30, 40 選択成長用マスク、31 波型活性層、51, 55, 57, 551 格子型ガイド層、53, 512, 531 ガイド層、54 多層光ガイド層、54

【図1】

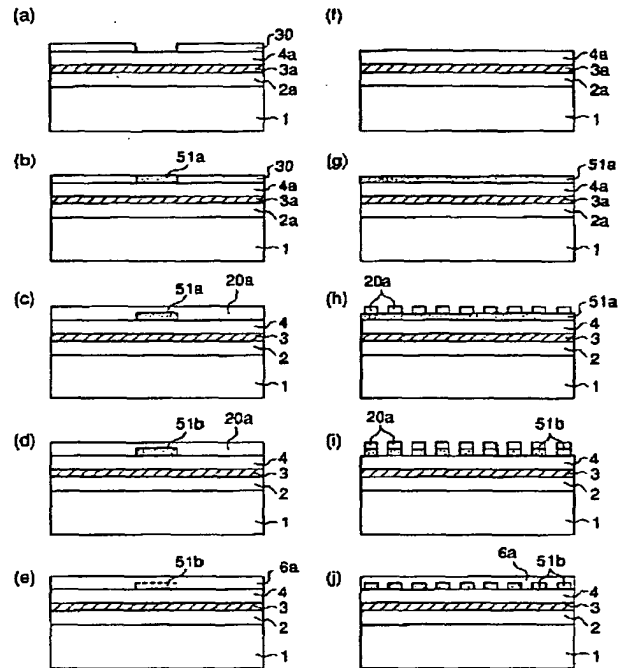


【図7】

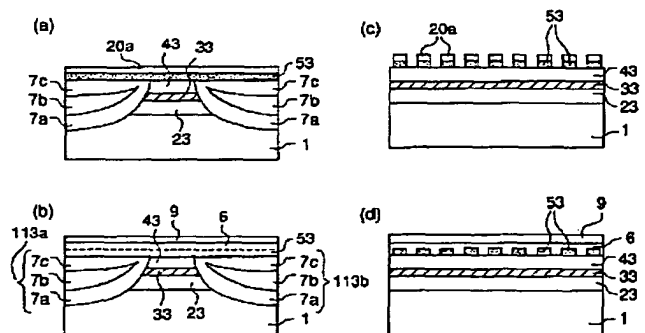


a, 54b, 54c 第1, 第2, 第3ガイド層、101, 101a, 101b, 102, 102a, 103, 103a, 104, 105, 105a, 107 DFBレーザ、110, 110b, 112, 120, 130, 130a 半導体積層構造、113a, 113b, 210a, 210b 光閉じ込め構造、220, 223, 224, 225 帯状リッジ部、511, 521 波型ガイド層、Ld 光出射方向。

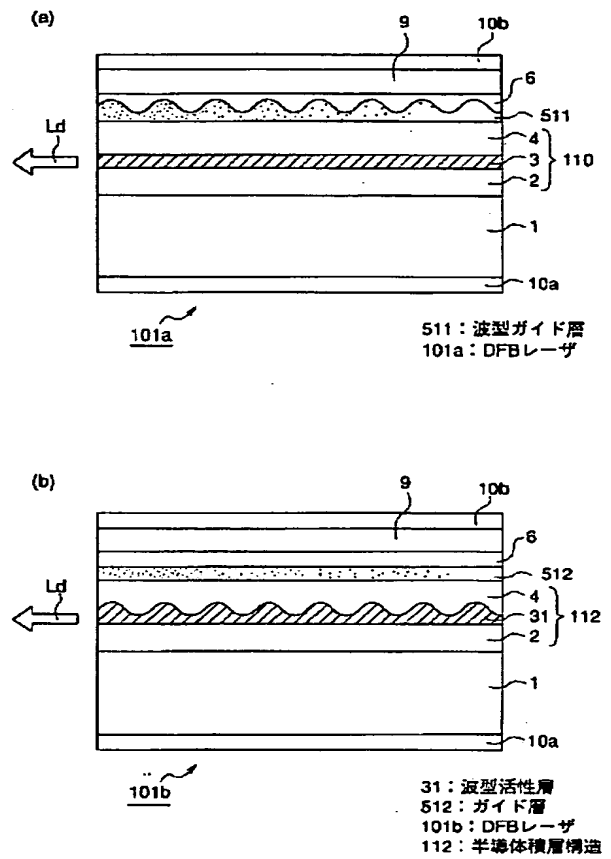
【図2】



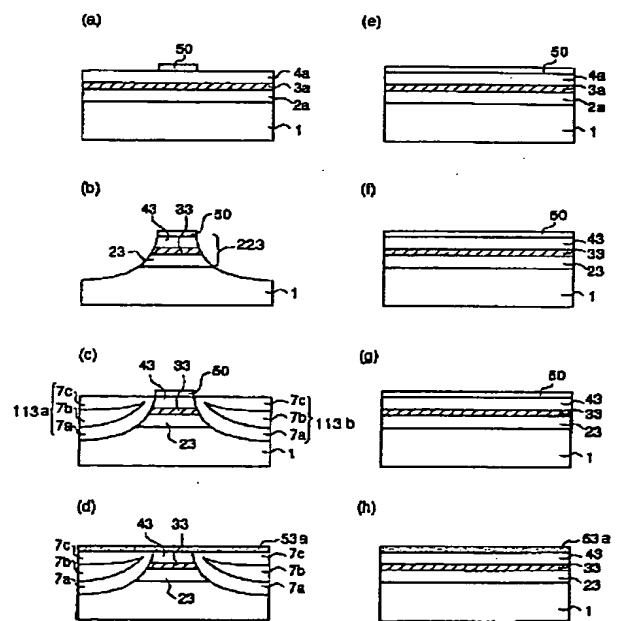
【図10】



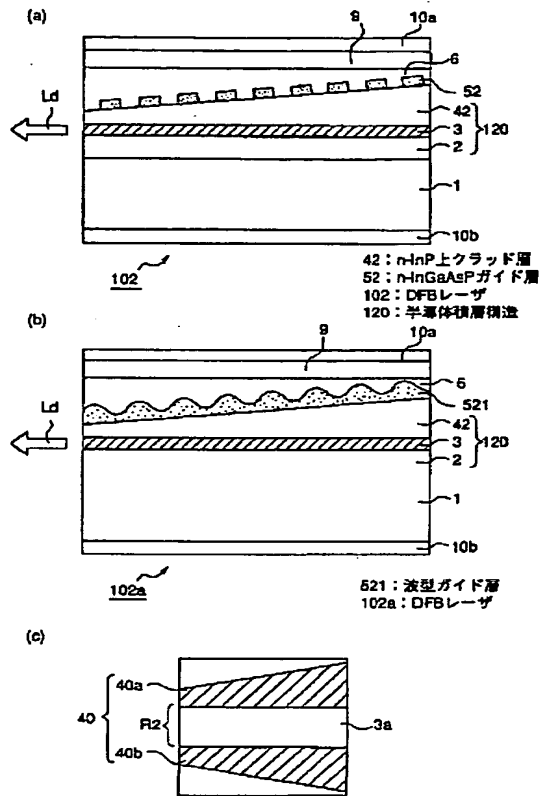
【図 4】



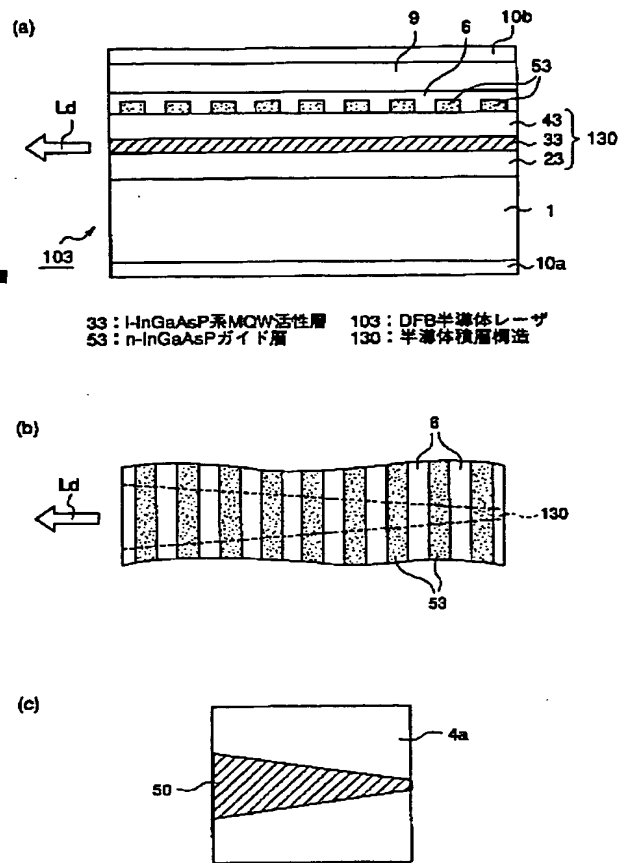
【図9】



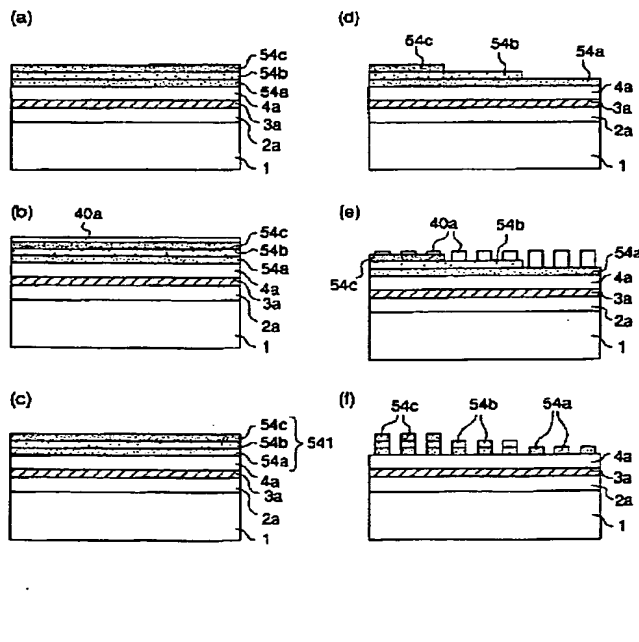
【図 5】



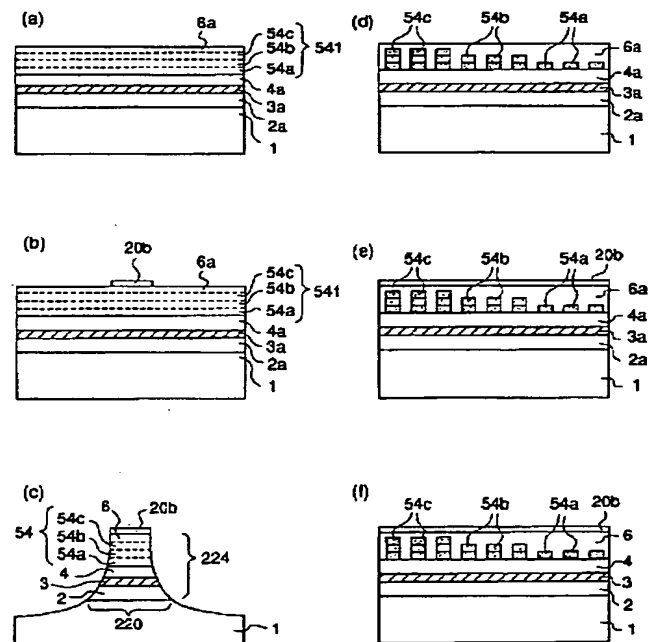
【図 8】



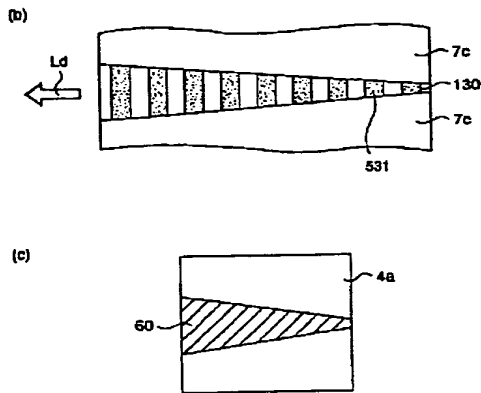
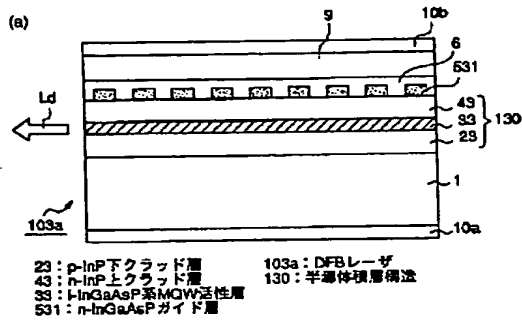
【図 13】



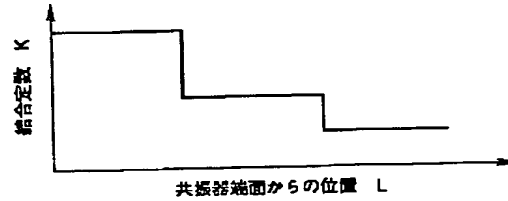
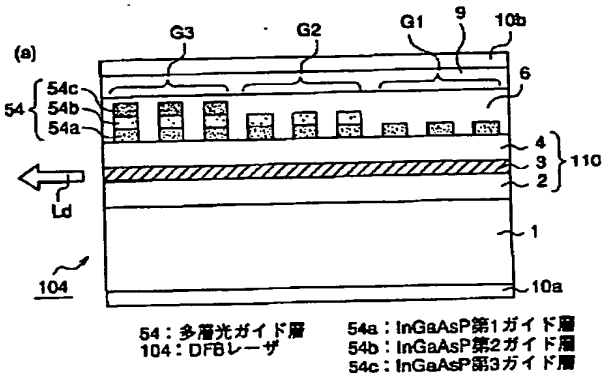
【図 14】



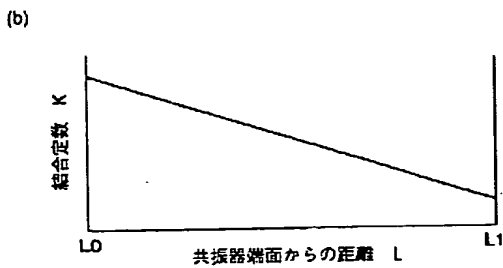
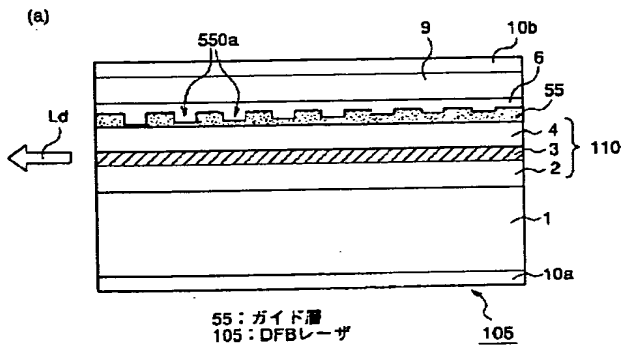
【図 11】



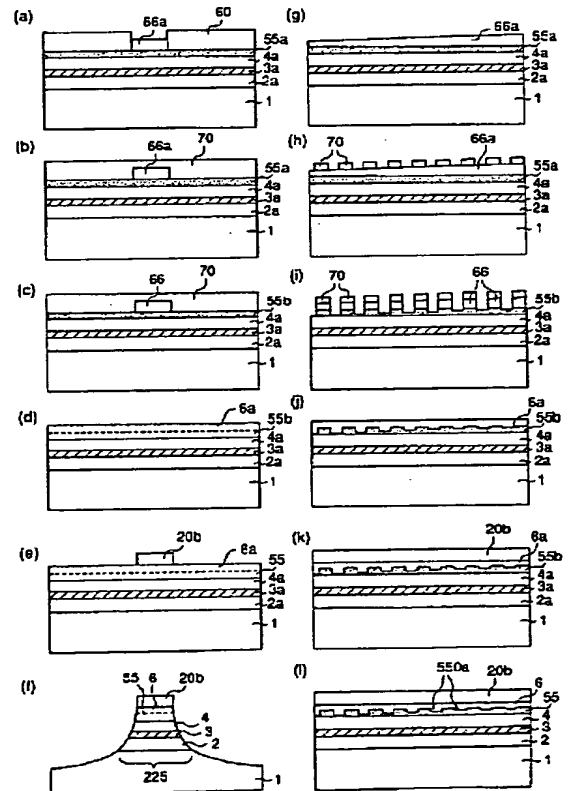
【図 12】



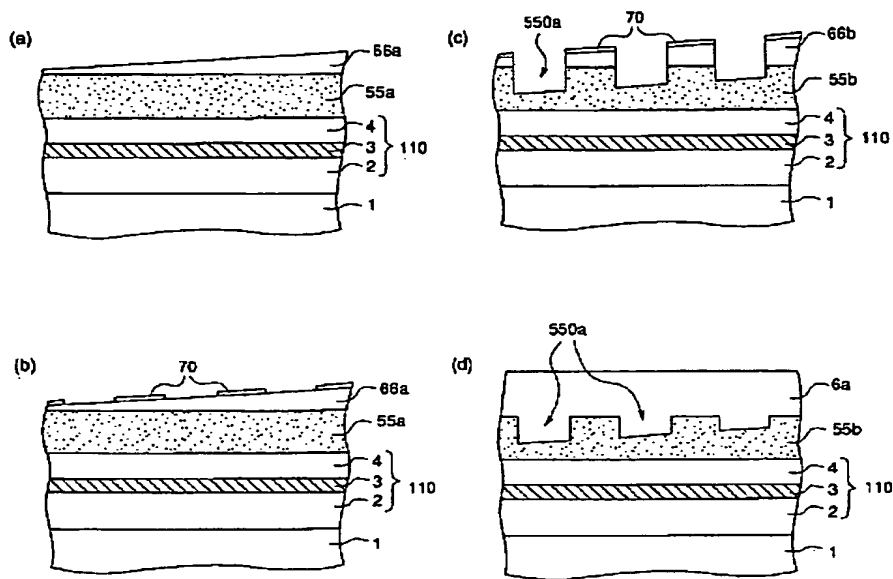
【図 15】



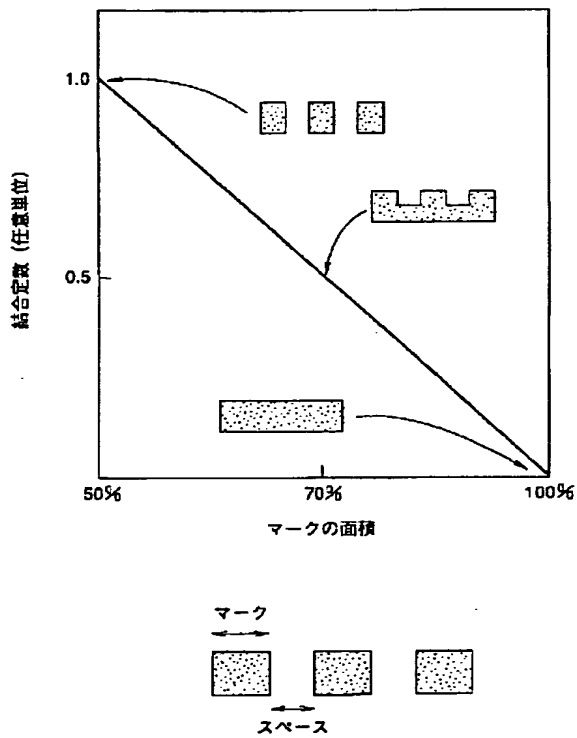
【図 16】



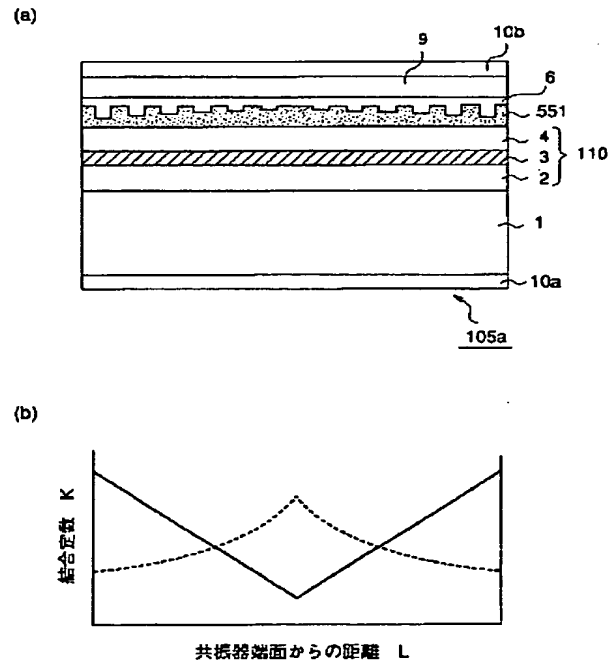
【図 17】



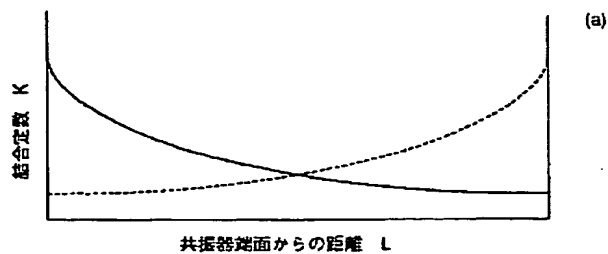
【図 18】



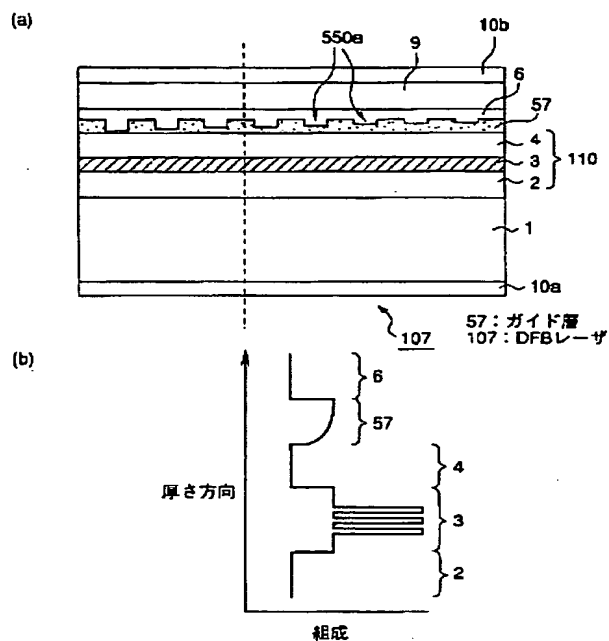
【図 19】



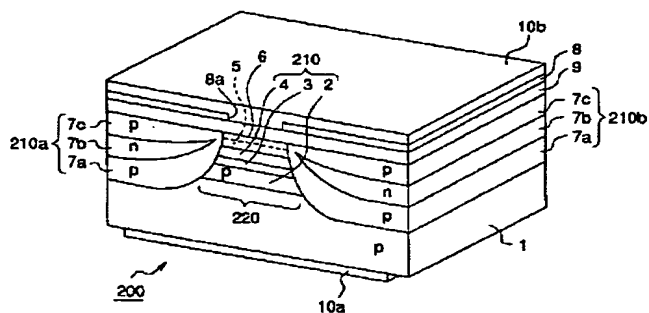
【図 20】



【図 21】

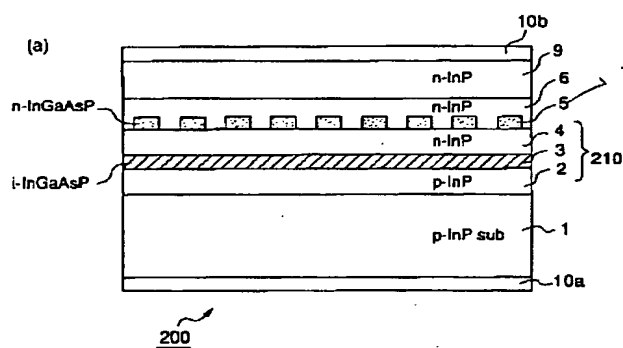


【図 22】



- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1: p-InP基板 | 10a: p電極 |
| 2: p-InP下クラッド層 | 10b: n電極 |
| 3: i-InGaAsP活性層 | 200: DFBレーザ |
| 4: n-InP上クラッド層 | 210a, 210b: 光閉じ込め構造 |
| 5: n-InGaAsPガイド層 | 220: ストライプ状リッジ部 |
| 6: n-InPコンタクト層 | |
| 7a: p-InP下側電流ブロック層 | |
| 7b: n-InP中央電流ブロック層 | |
| 7c: p-InP上側電流ブロック層 | |

【図 23】



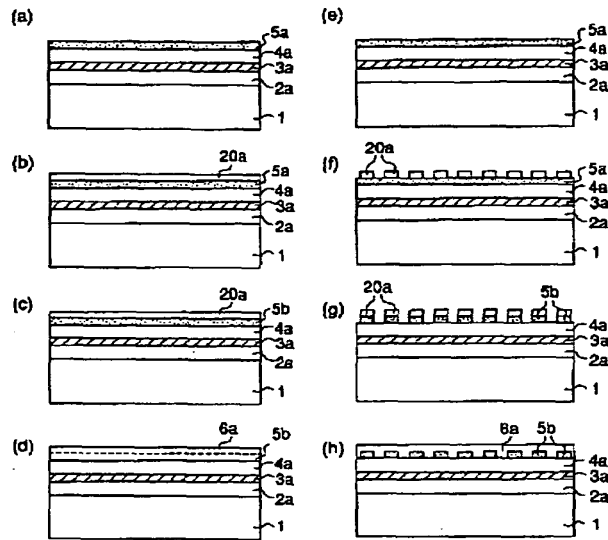
結合定数 K

L0

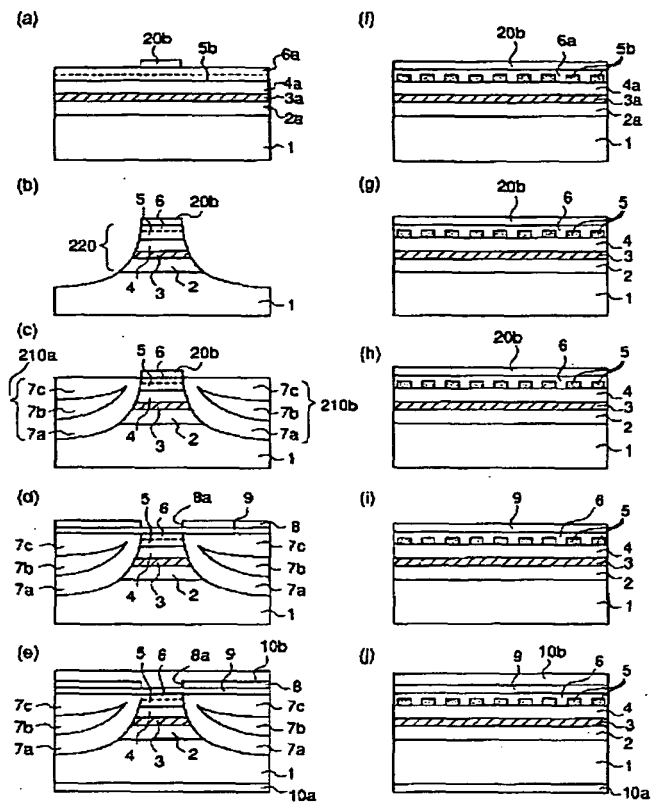
共振器端面からの位置 L

L1

【図 24】



【図 25】



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 斉

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三

菱電機株式会社内